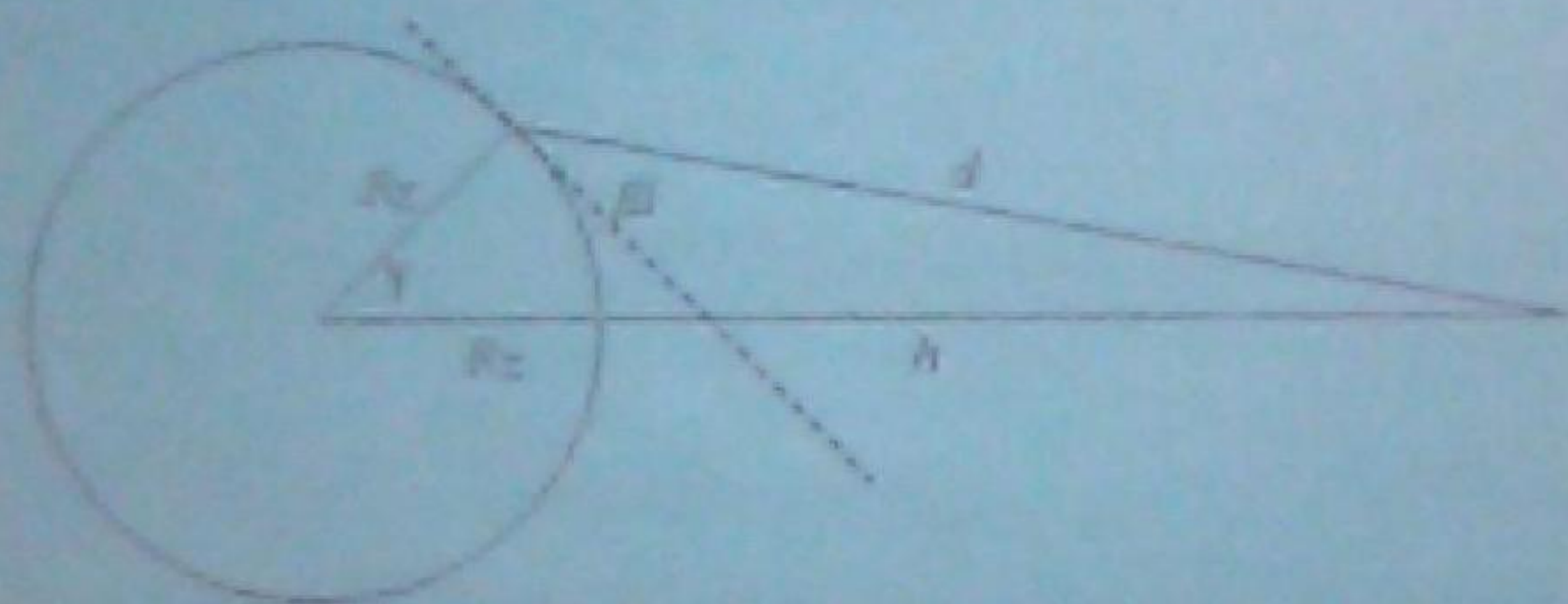


Naloga za kolokvij

Izračunaj kot elevacije na katerega moramo nastaviti anteno zemeljske postaje v Ljubljani (zemljepisna širina Ljubljane je 46°), da bomo sprejemali signal iz geostacionarnega satelita na višini $h=35786$ km, ki leži na isti zemljepisni širini kot Ljubljana. ($R_z=6378$ km)



Koliko goriva ostane za popravke?

Komunikacijski satelit s suho maso (brez goriva) $m_1=1500$ kg ima na krovu še $m_B=1000$ kg dvokomponentnega goriva. Koliko goriva $m'_B=?$ ostane na krovu satelita kot zaloga za manjše popravke timice, če glavino potiska motorja z $I_{sp}=300$ s uporabimo za premik satelita iz prenosne v dokončno geostacionarno timico, ki zahteva $\Delta v=1.5$ km/s? ($g=9.81$ m/s²)

$$v_1 = g \cdot I_{sp} = \underline{2943 \text{ m/s}}$$

$$\Delta v = -v_1 \ln \frac{m_B + m_1}{m'_B + m_1}$$

$$m'_B = (m_B + m_1) \cdot e^{-\frac{\Delta v}{v_1}} - m_1 = 2500 \text{ kg} \cdot e^{-\frac{1500}{2943}} - 1500 \text{ kg} = \underline{1,713 \text{ kg}}$$

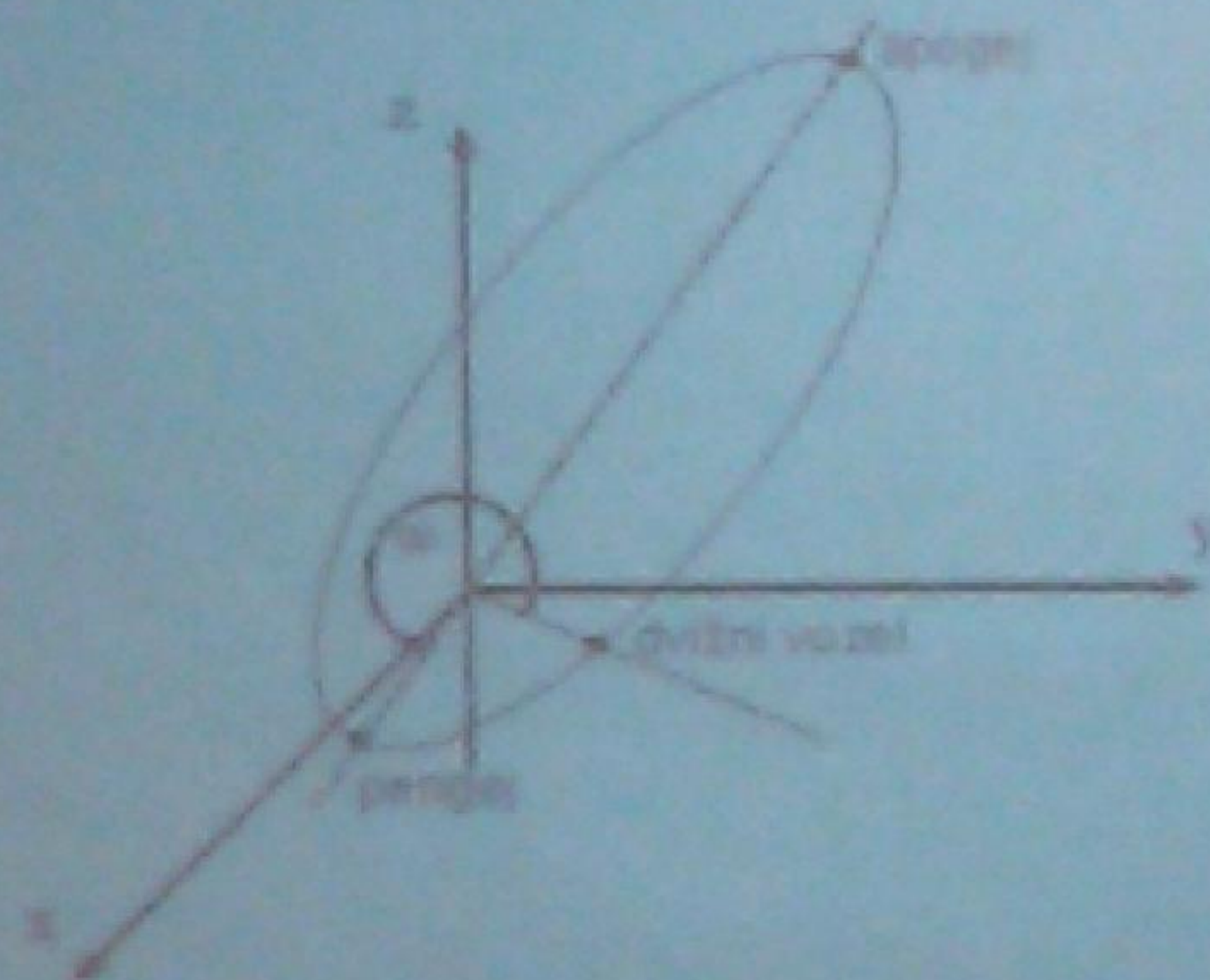
Končna hitrost rakete?

Raketni motorji Ariane 5, ki se uporabljata za prevoz satelitov v GEO in LEO, uporabljata mešanico tekočega vodika (H_2) in tekočega kisika (O_2). V idealnih razmerah izpušni plini iztekajo iz rakete z relativno hitrostjo $v_r = 4,5 \text{ km/s}$. Masa rakete pred vzletom znaša $750 \cdot 10^3 \text{ kg}$, od česar $600 \cdot 10^3 \text{ kg}$ pripada gorivu. Kakšno hitrost doseže raketa, ko porabi vso gorivo, če zanemarimo gravitacijo?

$$v = v_r \ln\left(\frac{m_0}{m_0 - m_g}\right) = 4,5 \cdot 10^3 \text{ m/s} \cdot \ln\left(\frac{750 \cdot 10^3 \text{ kg}}{750 \cdot 10^3 \text{ kg} - 600 \cdot 10^3 \text{ kg}}\right) =$$
$$= 4,5 \cdot 10^3 \text{ m/s} \cdot \ln\left(\frac{750 \cdot 10^3 \text{ kg}}{150 \cdot 10^3 \text{ kg}}\right) = \underline{\underline{7,24 \cdot 10^3 \text{ m/s}}}$$

Satelit Molnija

Satelit »Molnija« izstrelimo v visoko eliptično tirnico z naklonom $i=63,5^\circ$ in periodo $T=11$ h 58 min. Izračunajte višino apogeja $h_a=?$ nad zemeljsko površino, če izberemo višino perigeja $h_p=1000$ km. Koliko znaša ekscentričnost $e=?$ takšne tirnice? Koliko naj bo argument perigeja ω , da se satelit zadržuje najdlje nad severno poloblo? ($T_2=1436$ min, $R_2=6378$ km, $\mu=3,986 \cdot 10^{14}$ m³/s²)



Geostacionarna tirnica

- Umetni satelit je vedno na isti točki neba.
- Vrtenje satelita je natančno sinhronizirano z vrtenjem Zemlje.
- Tirnica je krožnica $e=0$ v ekvatorialni ravnini $i=0$.
- Perioda je enaka periodi vrtenja Zemlje $T=23\text{h in }56\text{ min}$.
- Sploščenost Zemlje nima vpliva.

Primer:

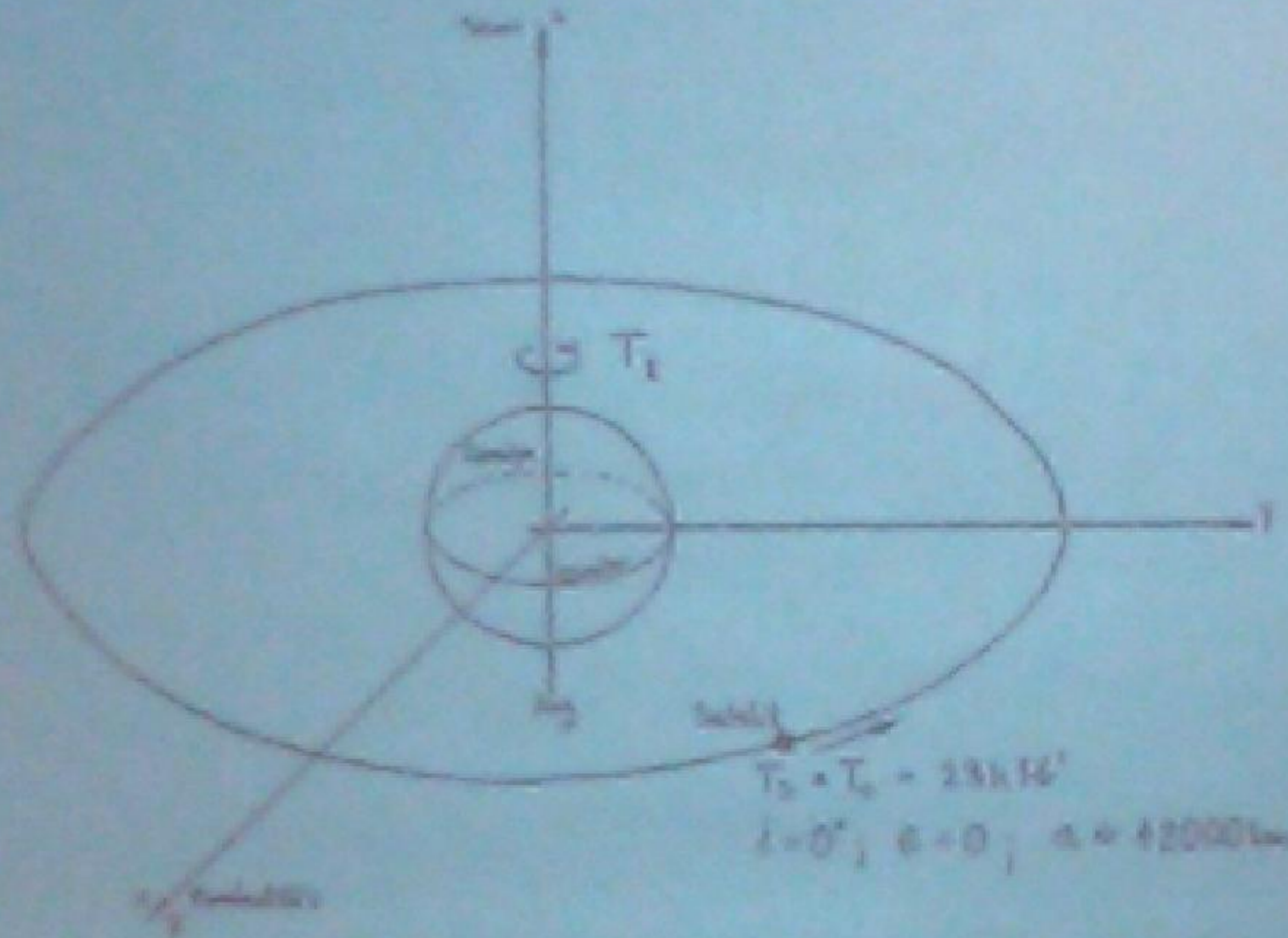
Izračunajte višino geostacionarne tirnice h nad površino Zemlje in hitrost satelita v . ($e=0$, $T=1436\text{ min}$, $R_Z=6378\text{ km}$, $\mu=3,986 \cdot 10^{14}\text{ m}^3/\text{s}^2$).

$$a = \sqrt{\mu \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2} = \sqrt{3,986 \cdot 10^{14}\text{ m}^3/\text{s}^2 \cdot \left(\frac{1436 \cdot 60\text{ s}}{2\pi} \right)^2} = \underline{42163\text{ km}}$$

$$h = a - R_Z = \underline{35785\text{ km}}$$

$$v = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)} = \sqrt{\frac{\mu}{a}} = \sqrt{\frac{3,986 \cdot 10^{14}\text{ m}^3/\text{s}^2}{42163 \cdot 10^3\text{ m}}} = \underline{3075\text{ m/s}}$$

- Sploščenost Zemlje nima vpliva.
- Ostale nepravilnosti v težnostnem polju Zemlje zaradi vrtenja satelita skupaj z Zemljo pripelje do stabilnih in labilnih točk.



stabilni točki:
 labilni točki:

nad Indijo
 76.8° E ; 108.1° W
 161.8° E ; 42.2° W
 nad Evropo

Motnje zaradi težnosti ostalih nebesnih teles

- Poznajo se pri satelitih, ki se nahajajo nad 10.000 km. (tudi geostacionarna tirnica)
- Odražajo se kot spremembe naklona tirnic.

$$\text{Nahaja Sonce: } \frac{d\iota}{dt} = 0,737^\circ/\text{leta} \sin \iota_0 \cos \iota_0 \quad g \cdot 10^{-8}$$
$$\iota_0 = 23,5^\circ$$

$$\text{Nahaja Luna: } \frac{d\iota}{dt} = 4,64^\circ/\text{leta} \sin \iota_0 \cos \iota_0 \quad g \cdot 10^{-7}$$
$$\iota_0 = 18,5^\circ \text{ --- } 28,5^\circ$$

Primer:

Geostacionarni satelit se nahaja v krožnici s periodo $T=1436$ min. Težnostni vpliv Sonca in Lune je geostacionarno tirnico pokvaril tako, da je naklon tirnice narasel na $\iota=5^\circ$. V kateri točki tirnice moramo vidjeti raketni motor na krovu satelita in kam mora biti usmerjena šoba (skica), da popravimo naklon tirnice? Koliko znaša potrebna sprememba hitrosti $\Delta v=?$ ($R_T=6378$ km, $\mu=3,986 \cdot 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$).

Airnergy – microwave power transmission

- Izračunaj koliko časa bi moral polniti baterijo mobilnega aparata, če bi izkoriščal sevanje brezžičnega usmerjevalnika, ki seva moč 100 mW na razdalji enega metra.



Li-Ion baterija

3,7 V

1500 mAh

5,55 Wh

Airnergy – microwave power transmission

- Izračunaj koliko časa bi moral polniti baterijo mobilnega aparata s kapaciteto 5,6 Wh, če bi izkoriščal sevanje brezžičnega usmerjevalnika, ki seva moč 100 mW na razdalji enega metra.

Površina krogle na katero seva antena

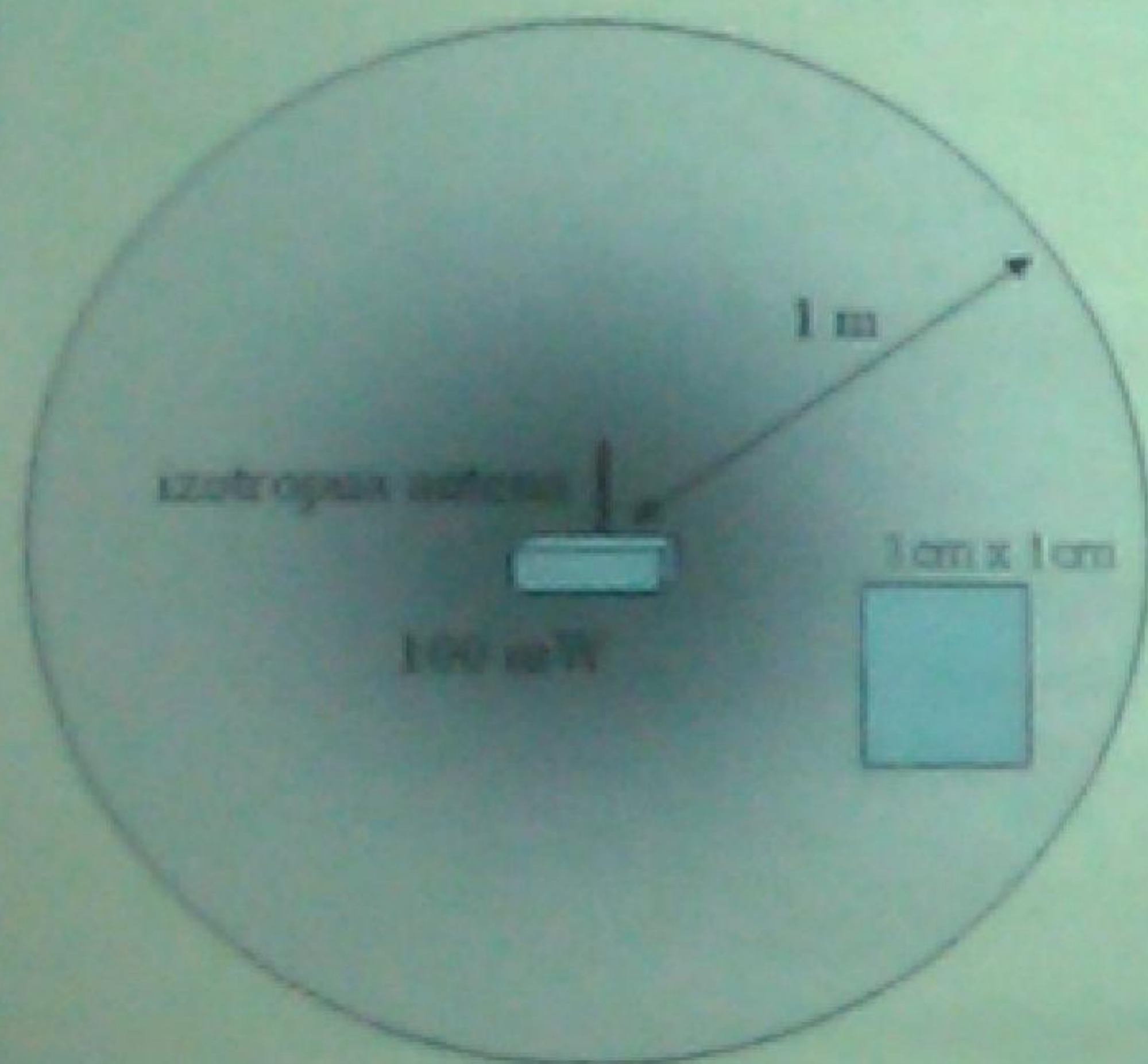
$$A = 4\pi r^2 = 12,6 \text{ m}^2$$

Moč na enoto površine

$$0,1 \text{ W} / 12,6 \text{ m}^2 = 8 \text{ mW/m}^2$$

Moč, ki jo sprejme antena

$$8 \text{ mW/m}^2 * 0,01 \text{ m}^2 = 0,08 \text{ mW}$$

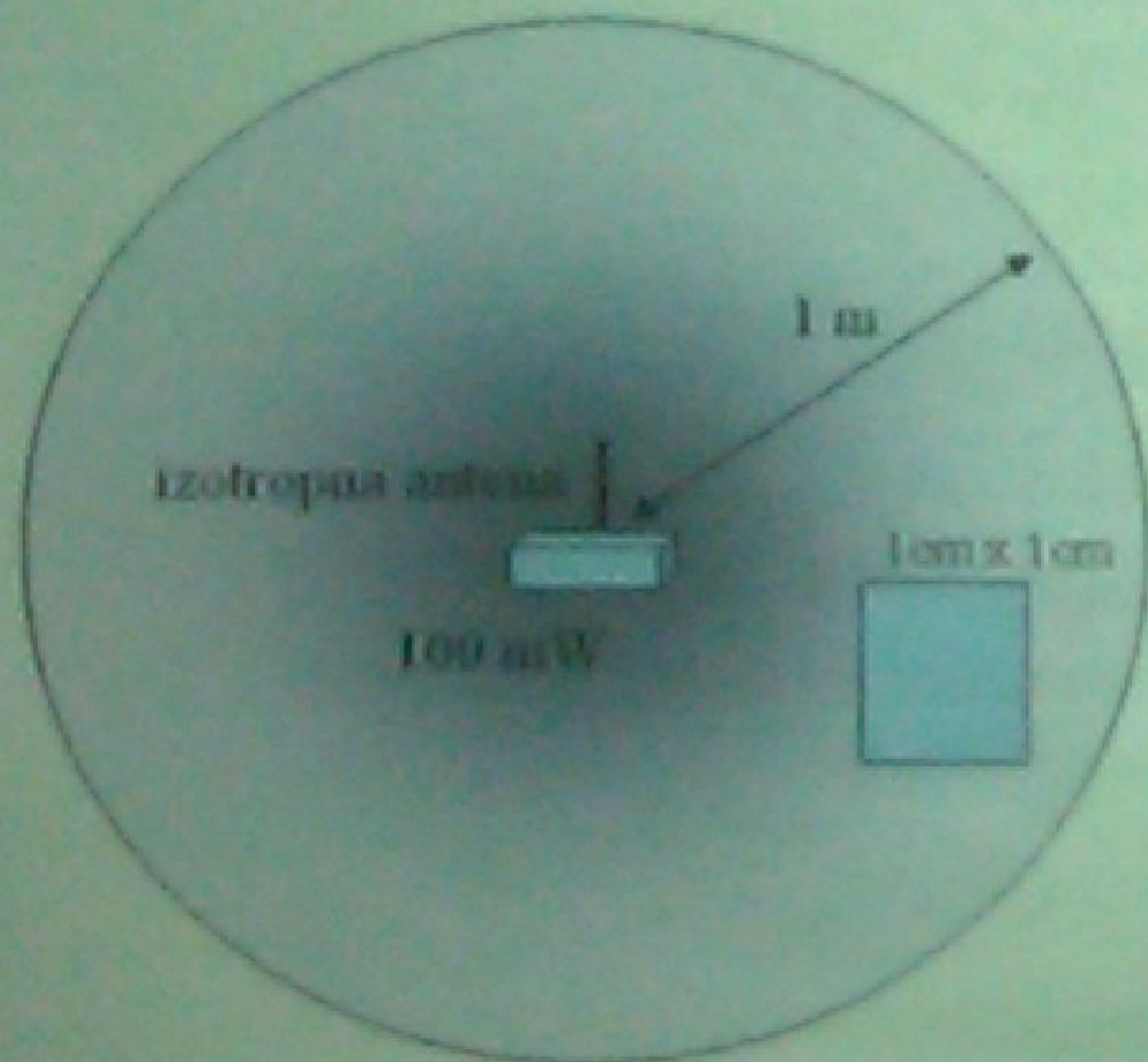


Airnergy – microwave power transmission

- Izračunaj koliko časa bi moral polniti baterijo mobilnega aparata s kapaciteto 5,6 Wh, če bi izkoriščal sevanje brezžičnega usmerjevalnika, ki seva moč 100 mW na razdalji enega metra.

Površina krogle na katero seva antena

$$A = 4\pi r^2 = 12,6 \text{ m}^2$$



Moč na enoto površine

$$0,1 \text{ W} / 12,6 \text{ m}^2 = 8 \text{ mW/m}^2$$

Moč, ki jo sprejme antena

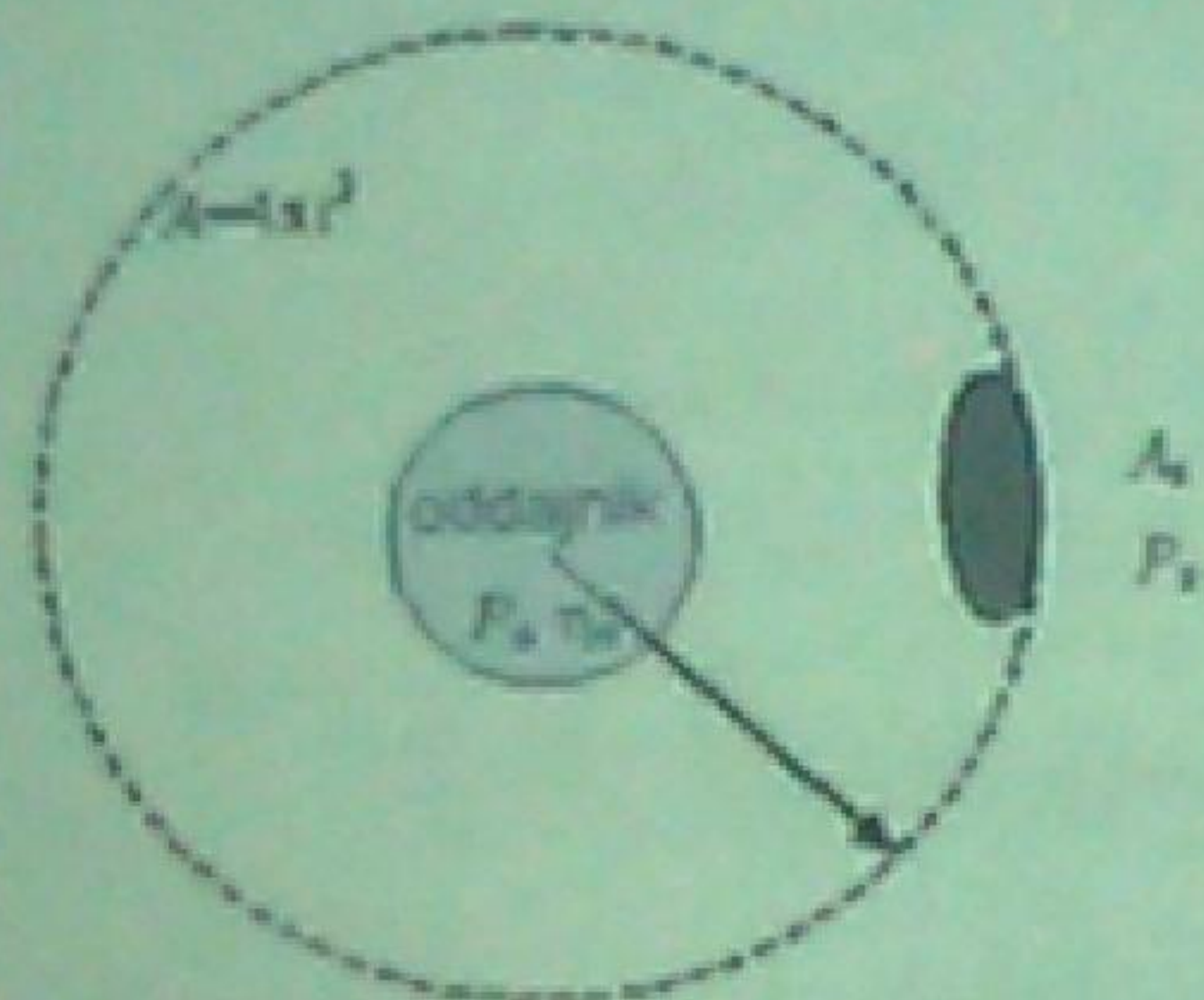
$$8 \text{ mW/m}^2 * 0,01 \text{ m}^2 = 0,08 \text{ mW}$$

Čas polnjenja

$$5,6 \text{ Wh} / 0,08 \text{ mW} = 70.000 \text{ ur} = 8 \text{ let}$$

Radijska zveza v praznem prostoru

- radijska zveza – elektromagnetno valovanje
- nelonizirajoče sevanje je posledica pospešenega gibanja električnih nabojev



gostota pretoka moči

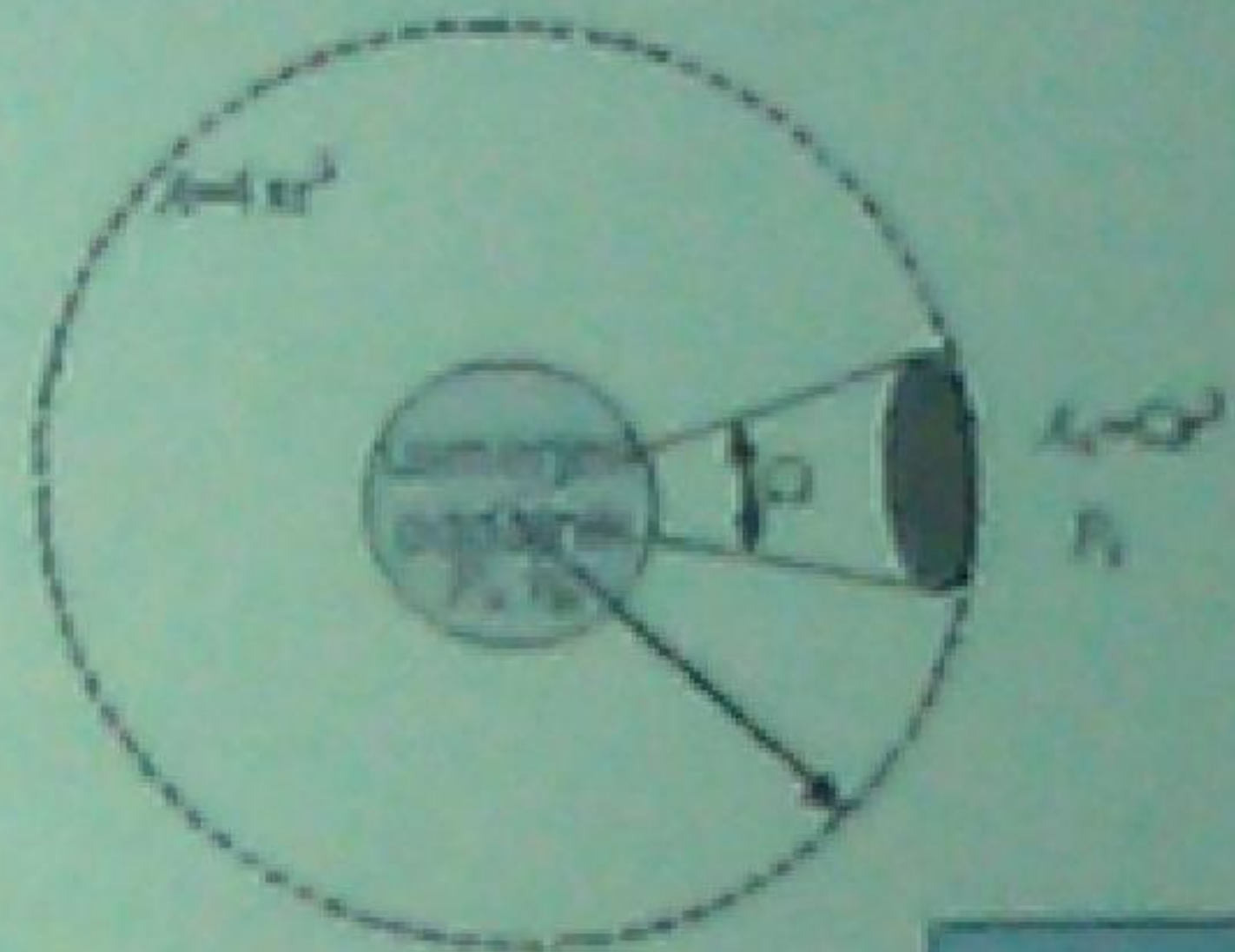
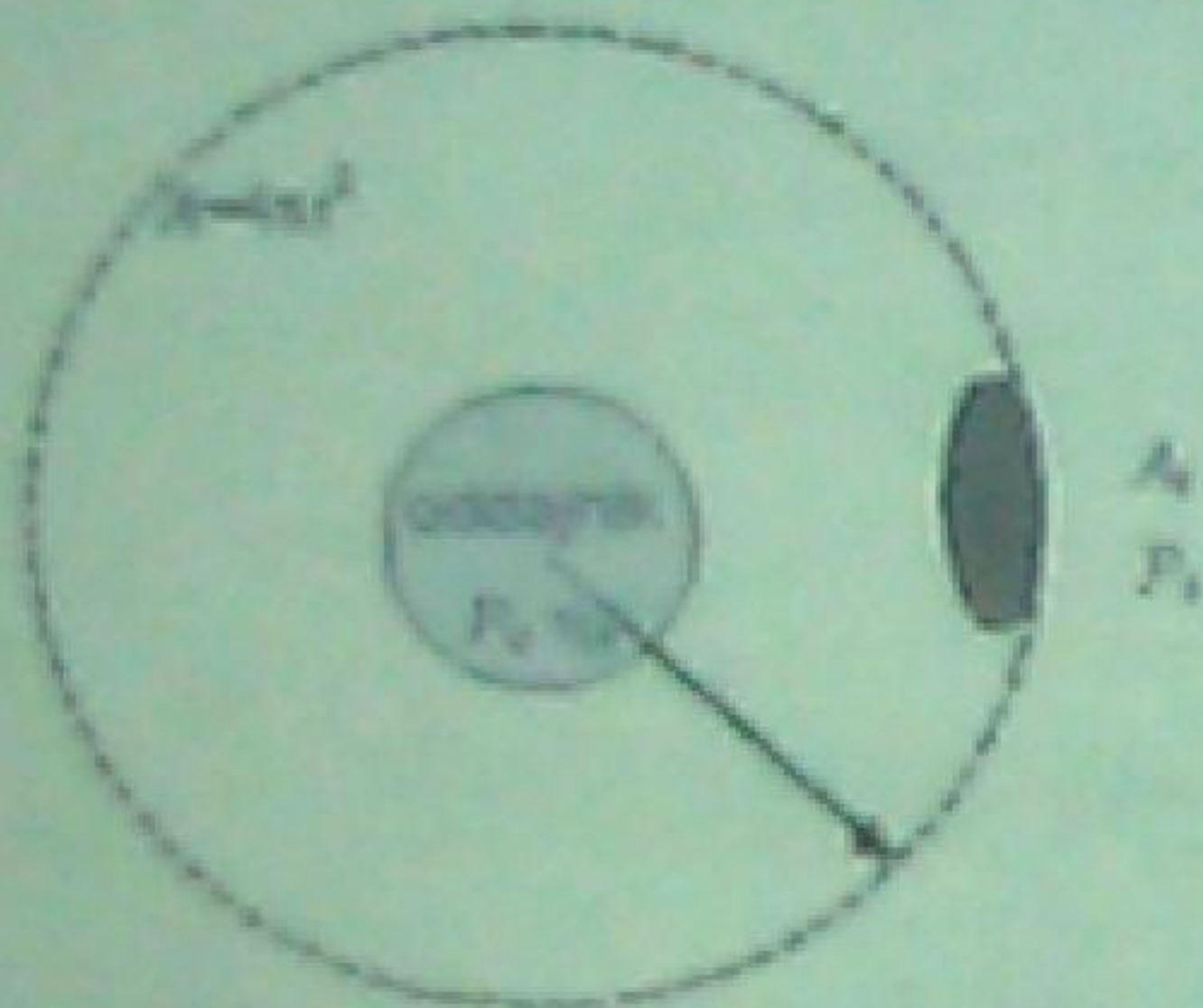
$$\vec{S} = \vec{e}_r \frac{P_e \eta_e}{4\pi r^2}$$

sprejeta moč

$$P_r = S A_r \eta_r = \frac{P_e \eta_e A_r \eta_r}{4\pi r^2}$$

Radijska zveza v praznem prostoru

- radijska zveza – elektromagnetno valovanje
- neionizirajoče sevanje je posledica pospešenega gibanja električnih nabojev



gostota pretoka moči

$$S = \vec{i} \frac{P_1 \Delta \Omega}{4\pi r^2}$$

sprejeta moč

$$P_2 = S A \Omega_2 = \frac{P_1 \Omega_1 A \Omega_2}{4\pi r^2}$$

$$S = \vec{i} \frac{P_1 \Delta \Omega}{A} = \vec{i} \frac{P_1 \Omega_1}{\Omega r^2}$$

$$P_2 = S A \Omega_2 = \frac{P_1 \Omega_1 A \Omega_2}{\Omega r^2}$$

Moč sprejetega signala je mogoče povečati:

- s povečanjem moči oddajnika
- s usmerjenostjo oddajnika

Smerni diagram

- Glede na smer sevanja ločimo
 - neusmerjene oz. vsesmerne antene (*omnidirectional*)
 - usmerjene antene (*directional*)



vsesmerna
antena



usmerjena
antena

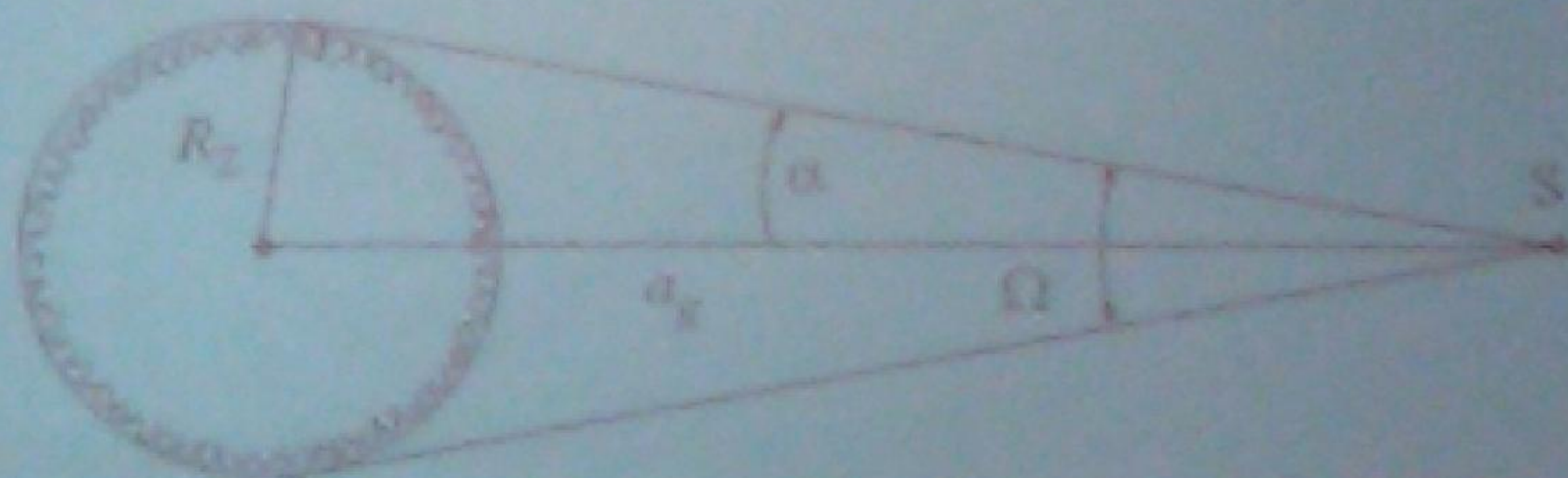
- Smerni diagram ponazarja relativno (običajno normirano) oddano/sprejeto moč v odvisnosti od kota okrog antene.

$$F(\theta, \phi) = \frac{E(\theta, \phi)}{E_{\max}}$$



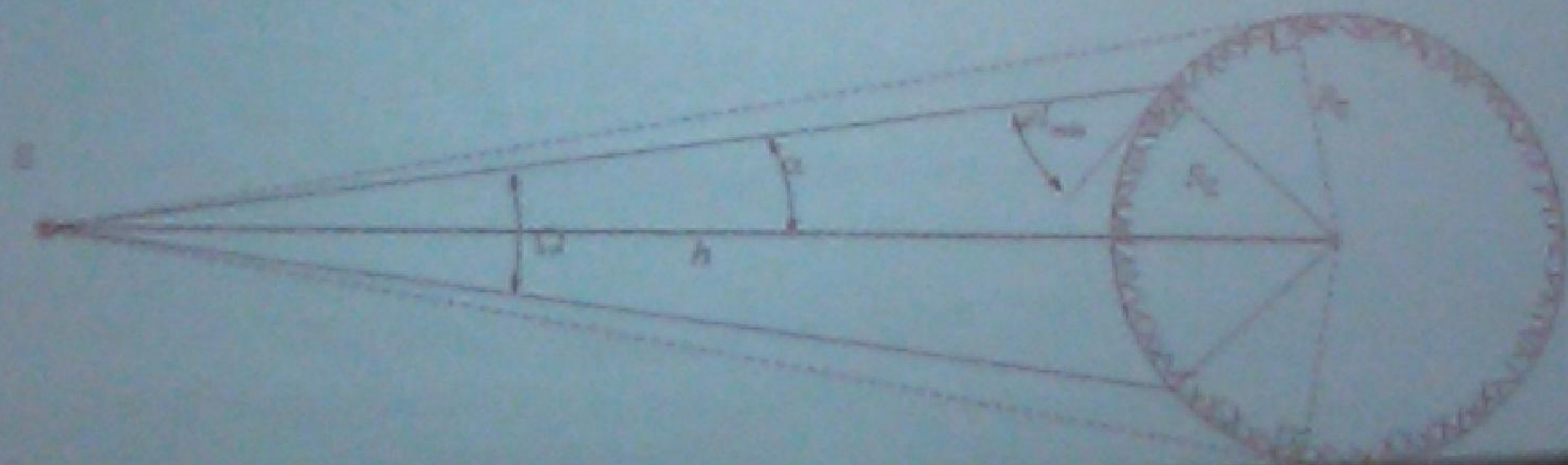
Smernost antene za osvetlitev celotne poloble

Določite največjo možno smernost antene $D=?$ (v decibelih), ki jo vgradimo na geostacionarni satelit ($T=T_z=1436$ min, $e=0$), da z radijskim signalom enakomerno osvetlimo celotno poloblo, ki jo satelit vidi s svojega položaja v tirnici. ($R_z=6378$ km, $\mu=3,986 \cdot 10^{14}$ m³/s²)



Telefonski satelit GLOBALSTAR

Telefonski satelit GLOBALSTAR leti v krožnici na višini $h=1420$ km nad zemeljsko površino z naklonom $i=52^\circ$. Določite smernost antene $D=^\circ$ na krovu satelita, ki zagotavlja pokrivanje vseh uporabnikov, ki vidijo satelit vsaj $eL_{\text{min}}=15^\circ$ nad obzorjem. Če se satelit nahaja prenizko na obzorju, je za mobilne postaje neuporaben zaradi senc hribov, zgradb ali dreves, zato naj antena na krovu satelita tja ne seva. ($f=1,6$ GHz, $R_z=6378$ km, $c=3 \cdot 10^8$ m/s)



Radijska zveza z majhno sprejemno anteno

- Usmerjena radijska zveza med majhno oddajno in majhno sprejemno anteno

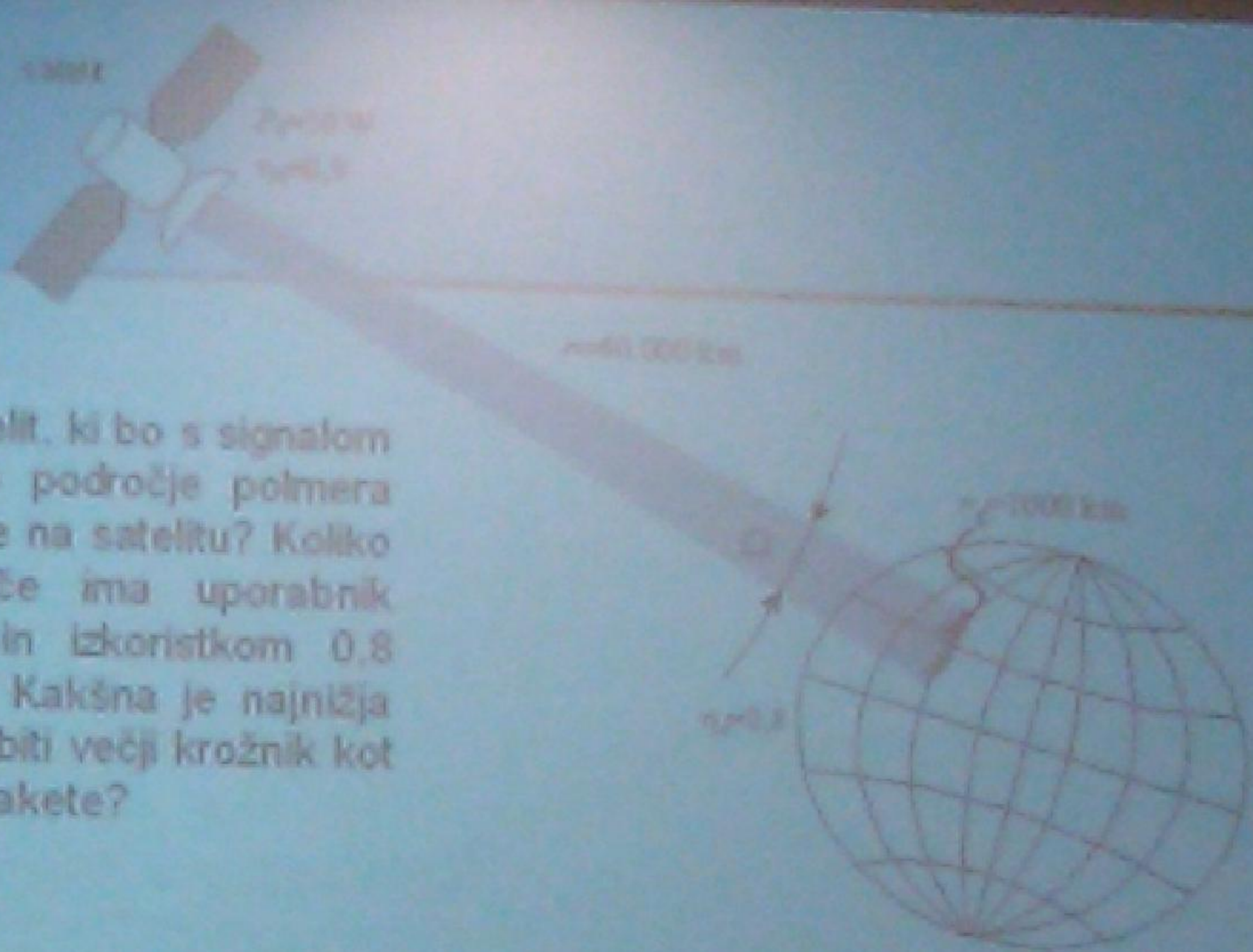
$$\bar{S} = \bar{I}_r \frac{P_o \cdot \eta_o}{A_e} = \bar{I}_r \frac{P_o \cdot \eta_o}{\Omega \cdot r^2} = \bar{I}_r \frac{P_o \cdot \eta_o \cdot D_o}{4\pi \cdot r^2}$$

$$P_r = S \cdot A_e \eta_r = \frac{P_o \eta_o \cdot D_o \cdot A_r \eta_r}{4\pi \cdot r^2}$$



Izbira frekvence

Na višino 40.000 km želimo postaviti satelit, ki bo s signalom satelitske televizije pokrival geografsko področje polmera 1000 km. Kakšna naj bo smernost antene na satelitu? Koliko moči sprejme satelitski sprejemnik, če ima uporabnik satelitsko anteno s premerom 1 m in izkoristkom 0,8 (izkoristek oddajne antene znaša 0,9)? Kakšna je najnižja frekvenca zveze, če na satelitu ne more biti večji krožnik kot s polmerom 1 m, kar je omejitev nosilne rakete?

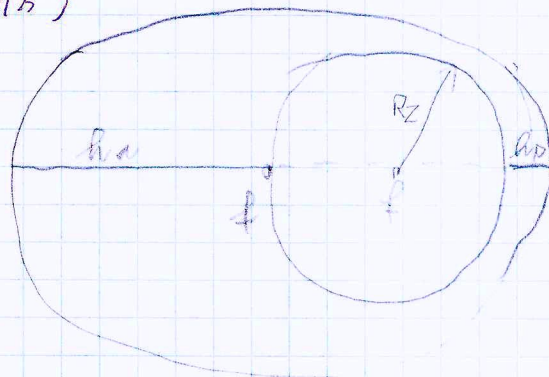
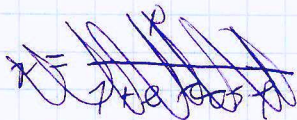


ENERGIJA SATELITA V ELIPTIČNI TRAJNICI

Satelit z maso $m = 1000 \text{ kg}$ se nahaja v trajnici z višino perigeja $h_p = 200 \text{ km}$ in višino apogeja $h_a = 35800 \text{ km}$.

Udobično je energija satelita?

($R_Z = 6378 \text{ km}$, $\mu = 3986 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{s}^2$)



$$a = \frac{r_a + r_p}{2} = \frac{\frac{P}{1-e} + \frac{P}{1+e}}{2} =$$

$$= \frac{P(1+e) + P(1-e)}{2(1-e^2)}$$

$$a = \frac{P}{1-e^2} - \frac{\frac{e^2}{\mu \cdot \text{m}^2}}{\frac{2W \cdot e^2}{\mu^2 \cdot \text{m}^3}} = -\frac{\mu \cdot m}{2W}$$

$$v = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}$$

↓
ORBITALNOJ
SATELITA
OBSLEŽEN
ZHUW

$$f = a - r_p = a - \frac{P}{1+e} = a - \frac{a(1-e^2)}{1+e}$$

$$f = a - a(1-e)$$

$$f = a \cdot e$$

$$r = \frac{P}{1+e \cos \varphi}$$

$$r_p = \frac{P}{1+e}$$

minimaj

$$r_a = \frac{P}{1-e}$$

$$e = \sqrt{1 + \frac{2W \cdot e^2}{\mu^2 \cdot \text{m}^3}}$$

↓
determiniraj

$$a = \frac{P}{1-e^2}$$

$$P = \frac{e^2}{\mu \cdot \text{m}^2}$$

$$a = -\frac{\mu \cdot m}{2W}$$

$$v = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right)}$$

$$r_p = a(1-e)$$

$$P = \frac{e^2}{\mu \cdot \text{m}^2}$$

II. KEPLERJEV ZAKON

$$r \cdot v_e = \frac{l}{m}$$

$$r_p = a(1-e)$$

$$f = a \cdot e$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a^3}{\mu}}$$

$$R = \sqrt{r^2 + R_Z^2 - 2R_Z r \cos \varphi}$$

$$\frac{\sin \varphi}{r} = \frac{\sin \varphi}{R}$$

UMETNI ZEMELJSKI SATELIT V ELIPTIČNI TIRNKI

Zhitrost satelita v perigeju v_p je za 70% večja od hitrosti satelita v apogeju v_a ($v_p = 70\% \cdot v_a$). Izračunajte veliko polosa a , in ekscentričnost e , če znaša višina perigeja $h_p = 500 \text{ km}$ nad zemeljsko površino! ($R_Z = 6378 \text{ km}$, $\mu = 3,986 \cdot 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$)

II KEPLERJEV ZAKON

$$r \cdot v_\perp^2 = \frac{d}{m}$$

$$r_p \cdot v_p^2 = r_a \cdot v_a^2$$

$$r_a = r_p \cdot \frac{v_p^2}{v_a^2} = r_p \cdot 1,7 = 7566 \text{ km}$$

velika pols elipse znaša $a = \frac{1}{2} (r_p + r_a) = 7222 \text{ km}$

$$r_p = a - f = a(1 - e)$$

UMETNI ZEMELJSKI SATELIT V ELIPTIČNI TIRNKI

UMETNI ZEMELJSKI satelit ima na višini $h = 1500 \text{ km}$ nad zemeljsko površino hitrost $v = 8 \text{ km/s}$. Vminimálném keplerovském systému

PERIODA TIRNICE UMETNEGA SATELITA

Zračunaj periodo tirnice T umetnega zemeljskega satelita, ki ima apogej na višini $h_a = 1500 \text{ km}$ nad zemeljsko površino

EKSCENTRIČNA ANOMALIJA

Zračunaj veliko kroga ekscentrična anomalija E na mestu čaka 30 min od perigeja za umetni satelit iz zračnega prostora, ki ima apogej na višini $h_a = 1500 \text{ km}$ in perigej na višini $h_p = 500 \text{ km}$. ($R_z = 6378 \text{ km}$, $\mu = 3,986 \cdot 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$)

$$r_a = h_a + R_z = 7878 \text{ km} \quad r_p = h_p + R_z = 6878 \text{ km}$$

$$\text{velika polos elipse kroga } a = \frac{r_a + r_p}{2} = 7378 \text{ km}$$

$$r_p = a(1-e) \implies e = \left(1 - \frac{r_p}{a}\right) = \left(1 - \frac{6878 \text{ km}}{7378 \text{ km}}\right) = 0,068$$

$$E - e \sin E = M$$

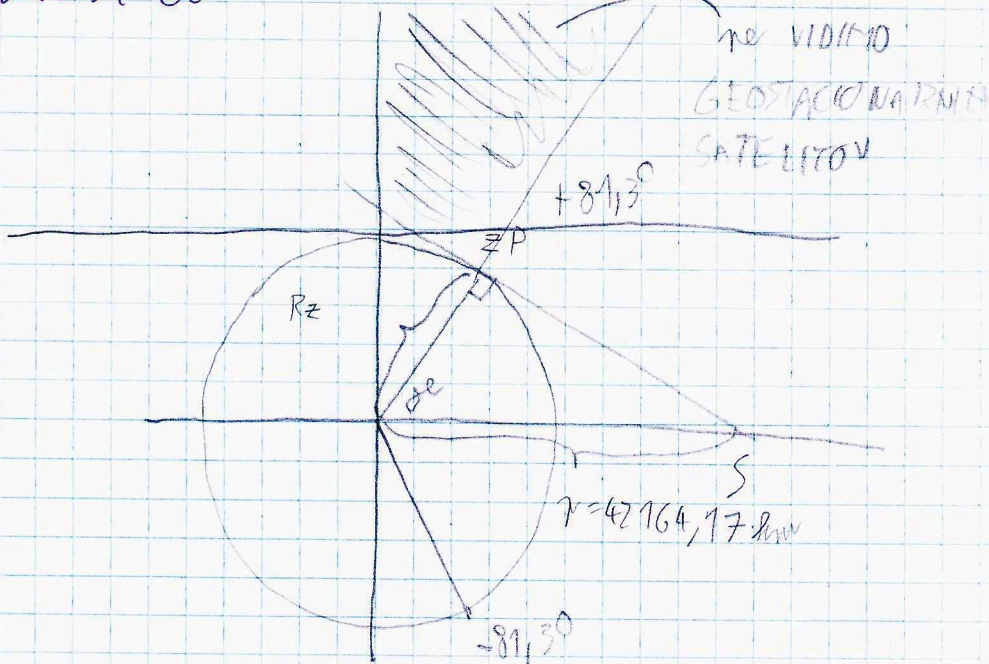
$$M = \sqrt{\frac{\mu}{a^3}} \cdot (a - r_p) = \sqrt{\frac{3,986 \cdot 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2}{(7378 \text{ km})^3}} \cdot 7800 \text{ s} = 1,79 \text{ rad}$$

$$f(E) = E - e \sin E - M$$

$$E_1 = E_0 - \frac{f(E_0)}{f'(E_0)} = E_0 - \frac{E_0 - e \sin E_0 - M}{1 - e \cos E_0}$$

VIPVIVOST GEOSTACIONARNEGA SATELITA

11.12.2012



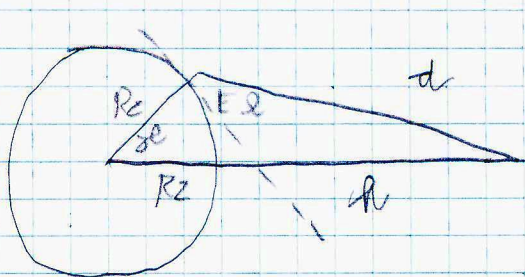
Izračunajte do katere zemeljske širine se vidni geostacionarni sateliti, ki se nahajajo na razdalji $r = 42164,17 \text{ km}$. ($R_Z = 6378 \text{ km}$)

$$\alpha_e \leq \arccos \left(\frac{R_Z}{r} \right) = \arccos \left(\frac{6378 \text{ km}}{42164,17 \text{ km}} \right)$$

$$\alpha_e \leq 81,3^\circ$$

KOLOKVIJSKA

Izračunajte kat elevacije na katerega moramo postaviti anteno zemeljske postaje v Ljubljani (ZEMLJŠIR LJ = 46°), da bodo sprejemali signale iz geostacionarnega satelita na višini $h = 35786 \text{ km}$, ki leti na ruti Zemlja - širina kot Ljubljana ($R_Z = 6378 \text{ km}$)



$$d = \sqrt{R_Z^2 + (R_Z + h)^2 - 2R_Z(R_Z + h) \cos \theta_e} = 30917 \text{ km}$$

$$\frac{\sin(90^\circ + \theta_e)}{R_Z + h} = \frac{\sin \theta_e}{d}$$

$$\cos \theta_e = (R_Z + h) \frac{\sin \theta_e}{d}$$

$$\theta_e = \arccos \left((R_Z + h) \frac{\sin \theta_e}{d} \right) = 37^\circ$$

PREVOZ SATELITA V TIRNICI

18.12.2012

IZSTRELITEV SATELITA S TOPIOM

I. KOZMIČNA HITROST

$$R_Z = 6378 \text{ km}$$

$$\mu = 3,98 \cdot 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$$

$$r_p = R_Z$$

$$a = R_Z$$

$$v_I = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{r_p} - \frac{1}{a} \right)} = \sqrt{\frac{\mu}{R_Z}} = 7,9 \text{ km/s}$$

II. KOZMIČNA HITROST

$$r_p = R_Z$$

$$a = \infty$$

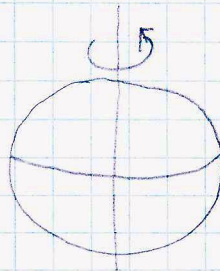
$$v_{II} = \sqrt{\mu \left(\frac{2}{r_p} - \frac{1}{a} \right)} = \sqrt{\frac{2\mu}{R_Z}} = 11,18 \text{ km/s}$$

$$T_Z = 1436 \text{ min}$$

$$R_Z = 6378 \text{ km}$$

$$v_Z = \frac{2\pi R_Z}{T_Z}$$

$$v_Z = 465 \text{ m/s}$$



RAKETNI POGON

$$v_i \cdot dm = m \cdot dv \quad \int : dt$$

$$v_i \frac{dm}{dt} = m \left(\frac{dv}{dt} \right) = a$$

PLONK

$$m_g = m_x \left(e^{\frac{\Delta v}{v_i}} - 1 \right)$$

$$dv = \frac{v_i}{m} \frac{dm}{dt}$$

$$\Delta v = \int_{x_1}^{x_2} a dt = \int \frac{v_i}{m} \cdot dm$$

PLONK

$$\Delta v_i = -v_i \ln \left(\frac{m_1}{m_2} \right)$$

Diagram showing mass components: m_1 (total mass) and m_2 (remaining mass). Labels include $m_g + m_x$ and m_x .

KOLIKO GORIVA OSTANE ZA POPRAVE 3

Komunikacijski satelit s uho nosa (brez goriva) $m_x = 1500 \text{ kg}$ ima na branu še $m_g = 1000 \text{ kg}$ dvokomponentnega goriva.

NAKLON TIRNICE BREZ PRECESIJE PERIGEJA

Značajni naklon tirnice, ki nima precesije perigeja

$$\frac{dw}{dt} = \frac{3}{4} \pi \cdot \left(\frac{R_c}{a} \right)^2 \cdot \frac{5 \cos^2 i - 1}{(1 - e^2)^2} J_2 = 0$$

$$5 \cos^2 i - 1 = 0$$

$$\cos i = \pm \sqrt{\frac{1}{5}}$$

Satelit "Molniya" izatrelja se v ravnino eliptično tirnico z naklonom $i = 63,5^\circ$ in periodo $T = 11$ h 58 min.

Izračunajte višino krogeja $h_a = ?$, naj manjšo površino, če izbrano višino krogeja $h_p = 1000$ km, koliko manjšo eventičnost e , kakšno tirnico?

Koliko naj bo argument krogeja ω , da se satelit nadgrajuje najdlje nad severno polarno? ($T_z = 1436$ min, $R_z = 6378$ km, $\mu = 3,986 \cdot 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$)

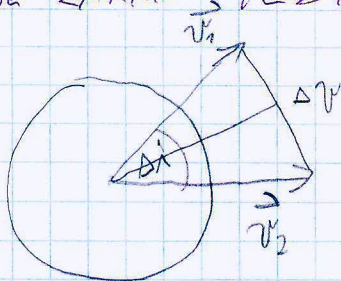
$$+ - 2a \sqrt{\frac{\mu}{a^3}} \rightarrow a = \sqrt[3]{\frac{\mu}{\mu} \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2} = 26361 \text{ km}$$

$$h_p = 1000 \text{ km}$$

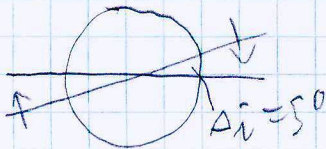
$$h_a = 2a - 2R_z - h_p = 39366 \text{ km}$$

$$h_p + R_z = r_p = a(1-e) \rightarrow e = 1 - \frac{h_p + R_z}{a} = 0,722$$

MOTNJE ZARADI TEŽNOSCI OSTALIH NEBESNIH TELES



$$\Delta v = 2v \sin\left(\frac{\Delta i}{2}\right)$$



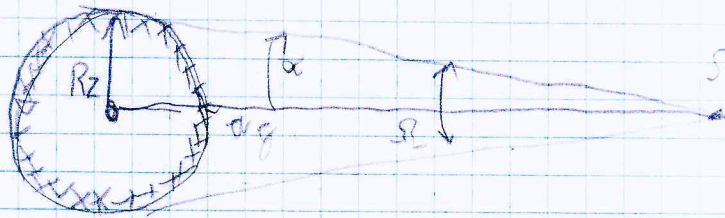
8.01.2013

za koliko dB se oslabi signal $f = 30 \text{ GHz}$ ko preputaže 30 km ?

$$\text{odg} = 3 \text{ dB}$$

SMERNOST ANTENE ZA OSVETLITEV CELOTNE PLOHBE

Polačite najmanjšo možno smernost antene $D = ?$ (v dB), ki jo vgradimo na geostacionarni satelit ($T = T_2 = 1436 \text{ min}$, $\omega = 0$), da v radijskem nivoju enakomerno osvetli celotno ploskev, ki jo satelit vidi v krožnem položaju v tavnici. ($R_2 = 6378 \text{ km}$, $\mu = 3986 \cdot 10^4 \text{ m}^3/\text{s}^2$)



$$\sin \alpha = \frac{R_2}{d_g}$$

$$\Omega = 2\pi(1 - \cos \alpha) = 2\pi(1 - \sqrt{1 - \sin^2 \alpha})$$

$$\Omega = 2\pi\left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{R_2}{d_g}\right)^2}\right)$$

$$d_g = 42163 \text{ km}$$

$$D = \frac{4\pi}{\Omega} = \frac{2}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{R_2}{d_g}\right)^2}} = 773,8$$

$$D [\text{dB}_i] = 10 \log_{10} D = 22,4 \text{ dB}_i$$

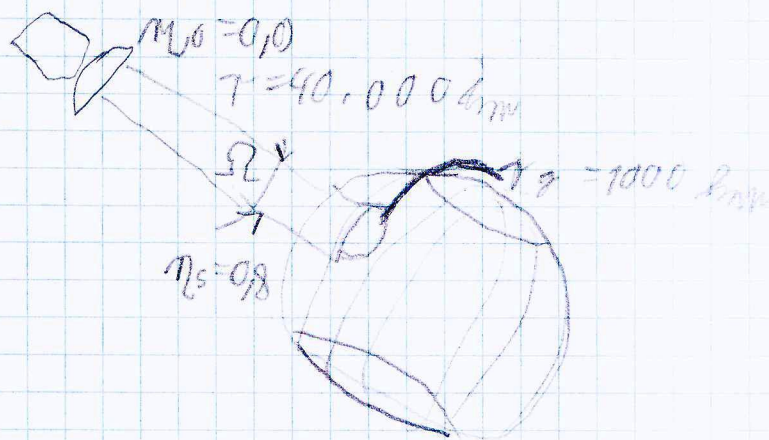
DOBITEK ANTENE

$$G = \eta D$$

IZBIRA FREKVENČE

Na višini 40.000 km želimo postaviti satelit, ki bo s signalom satelitske TV pokrival geografsko področje polmera 1000 km. Kakšna naj bo krenost antene na satelitu? Koliko moči sprejema satelitski sprejemnik, če ima uporabnik satelitsko anteno s premerom 1 m in učinkovitostjo 0,8 (učinkovitost oddajne antene znaša 0,9)? Kakšna je najnižja frekvenca zaveze, če na satelitu ne more biti večji krošniški kot s polmerom 1 m, kar je omejitveni razločni kot?

SATELIT $P_0 = 50W$



$$A_g = \pi r^2$$

$$D = \frac{4\pi}{\Omega} = \frac{4\pi r^2}{A_g} = \frac{4\pi (40\,000 \text{ km})^2}{\pi (1000 \text{ km})^2} = 6400$$

$$D [\text{dBi}] = 10 \log 6400 = 38 \text{ dBi}$$

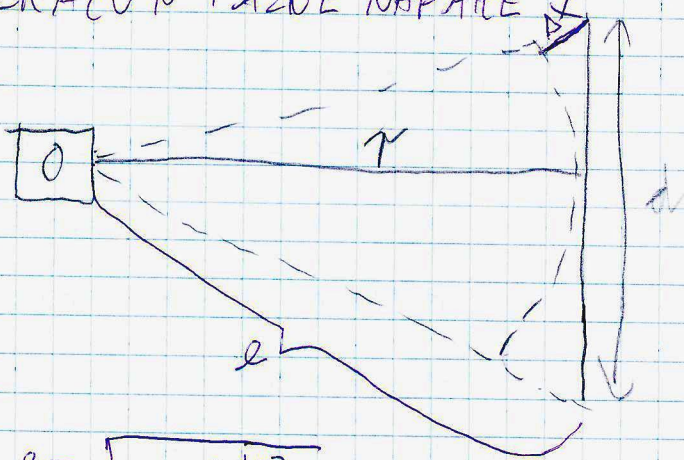
$$P_s = \frac{P_0 A_s \eta_0 \eta_s}{A_g} = \frac{P_0 \pi (0,5 \text{ m})^2 \eta_0 \eta_s}{\pi r^2}$$

$$P_s = \frac{50W (0,5 \text{ m})^2 \cdot 0,8 \cdot 0,9}{(1000 \text{ km})^2} = 9 \cdot 10^{-7} \text{ W} = 9 \text{ pW}$$

$$P_s [\text{dBm}] = 10 \log \frac{9 \text{ pW}}{1 \text{ mW}} = -80,5 \text{ dBm}$$

15.7.2013

IZRAČUN FAZNE NAPAKE



$$\lambda \varphi = k \cdot \Delta x = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta x$$

$$l = \sqrt{r^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

$$\Delta x = l - r \quad d \ll r$$

$$\Delta x = \sqrt{r^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2} - r \quad \left(\frac{d}{r}\right)^2 \approx 0$$

$$\Delta x = r \sqrt{1 + \left(\frac{d}{2r}\right)^2} - r \quad \sqrt{1 + \varepsilon^2} \approx 1 + \frac{\varepsilon^2}{2}$$

$$\Delta x = r \left(1 + \frac{1}{2} \left(\frac{d}{2r}\right)^2\right) - r = r + \frac{d^2}{8r} - r$$

$$\Delta x \approx \frac{d^2}{8r} \Rightarrow \Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{d^2}{8r}$$

$$\Delta \varphi = \frac{\pi}{2} \Rightarrow D = P = G = 1 \text{ dB}$$

$$\Delta \varphi = \frac{\pi}{8} \Rightarrow D = P = G = 0,06 \text{ dB}$$

$$\Delta \varphi = \frac{\pi}{8} = \frac{2\pi d^2}{\lambda 8r}$$

$$r \geq \frac{2d^2}{\lambda} \Rightarrow \text{FRAUNHOFERJEV POGOJ}$$

$\varepsilon = \text{MAJHNO ŠT}$,

$$\varepsilon = \left(\frac{d}{2r}\right)^2$$

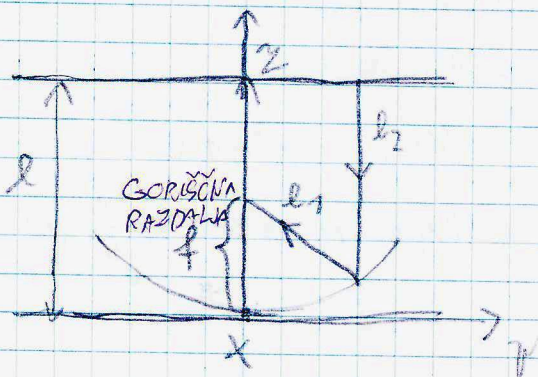
PRIMER 1: Zračna valovna dolžina medkružna razdalja med oddajno in sprejemno anteno velikosti $d = 10 \text{ cm}$ za nivoja, ki deluje na 10 GHz , da ne bo miti v primeru sprejemne antene in miti v primeru oddajne antene razloka večja od $\pi/8$

$$d = 10 \text{ cm}$$
$$f = 10 \text{ GHz} \Rightarrow \lambda = \frac{c_0}{f} = 3 \text{ cm}$$
$$r \geq \frac{2d^2}{\lambda} = \frac{2 \cdot (0,1 \text{ m})^2}{0,03} = 66,7 \text{ cm}$$

PRIMER 2: Zračna valovna dolžina medkružna razdalja za anteno v obliki katoliškega krožnika s premerom $d = 80 \text{ cm}$, ki deluje na 12 GHz

$$d = 80 \text{ cm}$$
$$f = 12 \text{ GHz} \Rightarrow \lambda = 2,5 \text{ cm}$$
$$r \geq \frac{2d^2}{\lambda} = \frac{2 \cdot (0,8 \text{ m})^2}{0,025 \text{ m}} = 51,2 \text{ m}$$

ZBIRALNO ZRCALO



$$l_1 + l_2 = \text{konst} = f + l$$

$$\sqrt{x^2 + y^2 + (f - z)^2} + l - z = f + l$$

$$\sqrt{x^2 + y^2 + (f - z)^2} + (l - z) = f + l$$

$$\sqrt{x^2 + y^2 + f^2 - 2fz + z^2} = f + z \quad \{^2$$

$$x^2 + y^2 + f^2 - 2fz + z^2 = f^2 + 2fz + z^2$$

$$x^2 + y^2 = 4fz$$

$$z = \frac{x^2 + y^2}{4f}$$

NAPAKE NA OBLIKI ZRCALA

Še povečajo paralelnega zrcala uprejemoma 12 GHz signal iz satelita. Izračunajte dovoljena odstopanja na površini zrcala, če bo dovoljena odstopanja uprejemovih 1 dB oziroma 0,25 dB

$$f = 12 \text{ GHz} \rightarrow \lambda = 2,5 \text{ cm}$$

$$\Delta_{-1\text{dB}} < \frac{\lambda}{16} = \frac{2,5 \text{ cm}}{16} = 1,6 \text{ mm}$$

$$P_{-1\text{dB}} < \frac{\pi}{4}$$

$$\varphi = 2k(\pm \Delta x) = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{1}{2k} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\lambda}{2 \cdot 2k} = \frac{\lambda}{16}$$

$$\Delta_{-0,25\text{dB}} < \frac{\lambda}{32} = 0,8 \text{ mm}$$